پژوهش‌های حبوبات ایران
سال(دوره)۱۱ شمارهٔ۱، نیمهٔ اوّل ۱۳۹۹
صفحهٔ ۴۸-۳۸، نوع مقاله: پژوهشی

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 11, No. 1, 2020, p. 38-48 (Research Article)
DOI: 10.22067/ijpr.v11i1.69427

مدل‌سازی مراحل فنولوژیک و پارامترهای عملکردی گیاه باقلا در شرایط شرق استان گلستان (ارزیابی مدل)

علی راحمی کاریزکی[1*] و سیدحسین حسینی[2]

۱- استادیار گروه تولیدات گیاهی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
۲- دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشگاه گنبد کاووس، ایران؛ hosseini2002us@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

چکیده

در حال حاضر باقلا به‌عنوان یکی از محصولات مهم در منطقه خاورمیانه، افریقا، چین و نقاطی از اروپا و استرالیا در تغذیه انسان و دام مورد توجه قرار دارد. مدل، ابزاری است که ما را در تفسیر و درک دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم، یاری می‌کند. پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی به‌شمار می‌رود. از مدل‌ها می‌توان در بهبود مدیریت تولید گیاهان زراعی برای پیش‌بینی تاریخ‌های احتمالی برداشت یا پیش‌بینی عملکرد نهایی، یا به‌صورت فعال‌تر، برای پیش‌بینی مطمئن زمان وقوع حوادث فنولوژیکی استفاده نمود. مدل استفاده‌شده در این مطالعه، مدل ارائه‌شده توسط سلطانی و همکاران برای نخود بود. برای پارامترهای ورودی مدل، از مقادیر به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای در دو سال زراعی۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ که در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس در شرایط مطلوب دیم و عاری از آفات، علف‌های هرز و بیماری‌های باقلا اجرا گردیده بود، استفاده شد. ۲۴سناریوی مختلف ترکیبات مختلفی از تراکم و تاریخ کاشت در دو سال زراعی برای مدل تعریف گردید. نتایج نشان داد که مدل قادر است مراحل فنولوژیک گیاه باقلا را به‌جُز روز تا سبزشدن به‌خوبی پیش‌بینی کند. این پیش‌بینی در مراحل منتهی به برداشت باقلا از بالاترین دقت برخوردار بود، به‌نحوی‌که بالاترین ضریب تبیین با مقدار ۰/۹۱ مربوط به تعداد روز تا برداشت باقلا بود. مطالعه نشان داد که مدل فوق نمی‌تواند به‌خوبی حداکثر سطح برگ، عملکرد، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را در شرایط آب و هوایی گنبد و تحت شرایط آزمایش‌های مزرعه‌ای پیش‌بینی نماید.

واژه‌های کلیدی: توصیف مدل، حبوبات، شبیه‌سازی، مدل

مقدمه

باقلا با نام علمی *Visia faba* L. متعلق به خانواده Fabaceae می‌باشد. با احتمال زیاد منشأ باقلا جنوب‌غربی آسیا گزارش شده است (Majnoon Hosseini, 2008). باقلا با دارابودن ۲۳/۴درصد پروتئین در دانه خشک باعث گردیده تا درحال‌حاضر به‌عنوان یکی از محصولات مهم در منطقه خاورمیانه، افریقا، چین و نقاطی از اروپا و استرالیا در تغذیه انسان و دام مورد توجه قرار گیرد (Turpin *et al*., 2002). سطح زیرکشت باقلا در جهان و ایران به‌ترتیب معادل ۲/۹میلیون و۳۰هزار هکتار می‌باشد. مناطق عمده کشت باقلا در ایران، استان‌های گلستان، خوزستان، مازندران و گیلان می‌باشد (Majnoon Hosseini, 2008). سطح کشت باقلا در استان گلستان در سال زراعی ۹۳ – ۱۳۹۲، ۲۲۸۸هکتارو میزان تولید آن ۲۰۷۶۱تُن(۳۵درصد تولید باقلا در کشور) و عملکرد غلاف سبز آن ۹۰۷۴کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. باقلا گیاه مناسبی در تناوب با غلات است، زیرا موجب شکستن چرخه بسیاری از بیماری‌های متداول غلات می‌شود و جمعیت نماتدها را کاهش می‌دهد (Jafarnodeh *et al*., 2017).

مدل، ابزاری است که ما را در تفسیر و درک دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم، یاری می‌کند. دانشمندان و مهندسان از انواع مدل‌ها به‌عنوان ابزاری برای درک پدیده‌های مورد مطالعه استفاده می‌کنند. مدل ریاضی، معادله یا مجموعه‌ای از معادلات است که رفتار هر سیستم را به‌طور کمّی توصیف می‌کند (Boote *et al*., 1996; Sinclair & Seligman, 1996; Van Ittersum *et al*., 2003). پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی به‌شمار می‌رود (Soltani *et al*., 2006; Torabi, 2004).

تولید و تسهیم ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی به وسیله زمان‌بندی مراحل نموّ تنظیم می‌شود (Rahemi Karizaki & Soltani, 2005 ; Soltani *et al*., 2006) درک چگونگی واکنش نموّ فنولوژیک باقلا به طول

*نویسنده مسئول: alirahemi@yahoo.com

روز و دما، ایجاد مدلی برای پیش‌بینی زمان وقوع مراحل مختلف نموّ این گیاه زراعی را میسر می‌سازد. انجام آزمایش‌ها و تحقیقات علمی بر روی محصول زراعی و یافتن شرایط مطلوب رشد آن‌ها مستلزم هزینه‌های گزاف و صرف وقت و دقت زیادی می‌باشد و این موضوع برای کشورهای درحال‌توسعه به علت کمبود امکانات و پژوهشگر دشوار است. امروزه با استفاده از مدل‌های زراعی و امکانات گسترده‌ای که در زمینه نرم‌افزارهای کامپیوتری به‌وجود آمده است، می‌توان با پیداکردن روابط میان فرایندهای رشد و یافتن شرایط مطلوب رشد، به نتایج قابل‌توجهی دست یافت و آن‌ها را برای شرایط دیگر تعمیم داد و وضع جدید را پیش‌بینی نمود. مدل‌ها محدودیت‌های جغرافیایی و محیطی را کاهش داده و در مورد گیاهان زراعی برای ارقام مختلف قابل تعمیم می‌باشند (Boote *et al*, 1996; Sinclair & Seligman, 1996).

استفاده از مدل‌ها بسیار سریع بوده و با درنظرگرفتن گیاه زراعی به عنوان یک سیستم پویا، امکان پیش‌بینی تغییرات این سیستم نسبت به زمان را فراهم می‌آورند. علاوه بر آن، از این مدل‌ها می‌توان برای معرفی گیاهان جدید در یک منطقه نیز استفاده کرد. پیش‌بینی برای وضعیت تولید مواد غذایی در یک منطقه یا جهان و اتخاذ سیاست‌های لازم با توجه به تغییرات محیطی نیز از دیگر مزایای مدل‌سازی است (Boote *et al*, 1996; Sinclair & Seligman, 1996).

از مدل‌ها می‌توان در بهبود مدیریت تولید گیاهان زراعی برای پیش‌بینی تاریخ‌های احتمالی برداشت یا پیش‌بینی عملکرد نهایی، یا به‌صورت فعال‌تر، برای پیش‌بینی مطمئن زمان وقوع مراحل فنولوژی به نحوی که کود، تنظیم‌کننده‌های رشد، علف کش‌ها و کنترل بیماری‌ها در مناسب‌ترین زمان به‌کارگرفته شوند، استفاده نمود. بسیاری از مدل‌سازان از مدل‌های خود به‌عنوان وسیله‌ای برای ارزیابی خطرات موجود در تولید استفاده کرده‌اند (Sinclair & Muchow, 1999). این امر با بررسی واکنش عملکرد (مدل) به آمار درازمدت اقلیمی یک منطقه صورت می‌گیرد و در نتیجه آن بهترین تاریخ کاشت، تراکم، فاصله ردیف، رقم زراعی و غیره تعیین می‌شود. از مدل‌ها می‌توان در بررسی کمّی اثر ویژگی‌های زراعی بر روی رشد و عملکرد گیاهان در محیط‌های خاص استفاده کرد. در مورد مسائل به‌نژادی گیاهان زراعی همچون دورگ‌گیری، دیررسی و زودرسی، بهبود دانه‌بستن، مورفولوژی گل‌ها، افزایش رشد تک‌دانه‌ها و زمان گلدهی می‌توان از مدل‌ها استفاده کرد. تعیین پتانسیل عملکرد منطقه‌ای، کمک به مدیریت آبیاری و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم از کاربردهای دیگر مدل‌ها می‌باشند (Sinclair & Seligman, 1996; Torabi, 2004; Sinclair & Muchow, 1999).

Aryakia *et al*, (2017) در مطالعه‌ای که روی لوبیاچیتی انجام دادند، نتیجه گرفتند که می‌توانند از مدل ترابی و سلطانی برای پیش‌بینی عملکرد و مراحل فنولوژیکی این گیاه استفاده کنند و بیان داشتند که این مدل می‌تواند به خوبی این پارامترها را بیان کند.

استفاده از یک مدل شبیه‌سازی برای پیش‌بینی رشد و عملکرد، به پارامترهای ورودی آن مدل در منطقه موردنظر بستگی دارد. مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان مثل سایر ابزارها دارای نقاط قوت و محدودیت‌های خاص خود هستند. بنابراین، حصول نتیجه مطلوب از به‌کارگیری مدل‌ها مستلزم شناخت مناسب از توانایی‌ها و محدودیت‌های آن‌ها می‌باشد. هدف از این تحقیق، ایجاد یک مدل ساده برای پیش‌بینی مراحل فنولوژیک، حداکثر سطح برگ، عملکرد و شاخص برداشت باقلا تحت شرایط آب‌وهوایی گنبد با استفاده از مدل نخود بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس در شرایط مطلوب دیم و عاری از آفات، علف‌های‌هرز و بیماری‌های باقلا اجرا گردید. گنبدکاووس در ۵۵درجه و ۱۲دقیقه طول جغرافیایی و ۳۷درجه و ۱۶دقیقه عرض جغرافیایی، در ارتفاع ۴۵متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد. میزان بارش سالانه حدود ۵۰۰میلی‌متر است. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک تعیین شد (جدول۱) که بر اساس نتایج حاصله بافت خاک لوم رسی سیلتی بود.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و در دو سال انجام شد. تراکم کاشت در چهار سطح (۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ بوته در مترمربع) و تاریخ کاشت در سه سطح (۱۳آبان۱۳۹۱، ۱۳آذر۱۳۹۱، ۱۳دی۱۳۹۱ و ۷آذر۱۳۹۰، ۲۴آذر۱۳۹۰ و ۱۷دی۱۳۹۰) بود. برای ایجاد تراکم‌های مختلف، فاصله بین ردیف‌ها ۵۰سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۲۵سانتی‌متر برای تراکم ۸بوته در مترمربع، ۱۶/۷سانتی‌متر برای تراکم ۱۲بوته در مترمربع، ۱۲/۵سانتی‌متر برای تراکم ۱۶بوته در مترمربع و۱۰سانتی‌متر برای تراکم ۲۰بوته در مترمربع درنظرگرفته شد. میزان کود توصیه‌شده در زمان کاشت، ۲۰کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و۵۰کیلوگرم کود اوره در هکتار بود. بذور قبل از کاشت با سم کربوکسی تیرام به میزان دو در هزار، ضدعفونی شده و در ردیف‌های ایجادشده در عمق ۵سانتی‌متری کشت شدند. چون این آزمایش در شرایط مطلوب

دیم و عاری از آفات، علف‌های‌هرز و بیماری‌های باقلا انجام شد، هر دو تا سه هفته یک‌بار، برای مبارزه با آفات ازجمله شته سیاه باقلا (Aphis Fabae) از سم ایمیداکلوپرامید (کنفیدور) به میزان ۲۵۰سی‌سی در هکتار، و به‌منظور جلوگیری از بیماری‌های قارچی مانند لکه‌شکلاتی (Botrytis Fabae) و برق‌زدگی (Ascochyta Fabae) از سم بنومیل به نسبت دو در هزار استفاده گردید. به‌خاطر انجام عملیات تهیه زمین مناسب، قبل از کاشت، مشکل علف‌های‌هرز هنگام سبزشدن وجود نداشت و پس از آن به‌صورت هفتگی عملیات وجین به‌صورت دستی انجام شد. پس از سبزشدن بذور در مرحله ۴ تا ۶برگی تنک‌کردن انجام شد. صفات اندازه‌گیری‌شده در این تحقیق شامل تمامی مراحل مهم فنولوژیک ازجمله روز تا گلدهی (R1)، روز تا غلاف‌دهی (R3)، روز تا دانه‌بندی (R5)، روز تا شروع رسیدگی (R7) و روز تا رسیدگی کامل (R8) بود که در فصل رشد روی۱۰بوته مشخص بر اساس روش Fehr & Cavienss (1977) انجام شد. به این نحو که ۱۰بوته انتخاب و با یک نخ قرمز مشخص گردید و سپس با فاصله هر دو روز یک‌بار مراحل فنولوژی مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش (عمق ۰- ۳۰ سانتی‌متری)

Table1. Soil characteristics in experimental place (depth 0 to 30 cm)

مشخصه **Characteristic**	مقدار **Mount**
Sulphor (ppm) گوگرد (قسمت در میلیون)	47.3
هدایت الکتریکی (دسی زیمینس) (Ec)	1.1
اسیدیته (pH)	7.6
درصد مواد خنثی‌شونده T.N.V%	10.5
Organic carbon (%) کربن آلی (درصد)	1.16
Nitrogen (ppm) نیتروژن (قسمت در میلیون)	0.7
Aolutely phosphor (ppm) فسفر قابل‌جذب (قسمت در میلیون)	12.3
Absolutely potassium (ppm) پتاسیم قابل‌جذب (قسمت در میلیون)	414
Clay (%) رس (درصد)	30
Silt (%) لای (درصد)	62
Sand (%) ماسه (درصد)	8

توصیف مدل

مدل استفاده‌شده در این مطالعه مشابه با مدل نخود SSM-iLegume-Chickpea توسط Soltani *et al,* (1999) بود. در این مدل جهت پیش‌بینی پارامترهای مختلف فنولوژیکی نیاز به مجموعه‌ای از اطلاعات پایه است که در جدول۲ آورده شده است. برای استفاده از این مدل، ابتدا اقدام به تعریف سناریوهایی بر اساس تاریخ کاشت و تراکم مورد مطالعه در آزمایش مزرعه‌ای گردید و در نهایت خروجی مدل (خروجی‌های مربوط به مراحل فنولوژی، حداکثر سطح برگ، عملکرد اقتصادی و بیولوژیک و شاخص برداشت) با داده‌های واقعی به‌دست‌آمده از آزمایش مزرعه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت.

داده‌های هواشناسی و اقلیمی بر اساس داده‌های مربوط به سال های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ گنبد مورد استفاده قرار گرفت. برای اجرای مدل، ۲۴سناریو شامل ترکیبات مختلف تاریخ کاشت و تراکم مورد استفاده در آزمایش‌های مزرعه‌ای تعریف گردید. جهت مقایسه داده‌های شبیه سازی‌شده با داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای، از شاخص‌های ارزیابی، ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[۱])، جذر میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (NRMSE[۲]) و خط ۱:۱ استفاده گردید. هرچه مقدار R^2 حاصل از رگرسیون خطی توابع و خط ۱:۱ به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده همبستگی بالا بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده است و نشانه توصیف بهتر مدل در شبیه‌سازی صفت موردنظر می‌باشد. علاوه بر آن مدل ایده‌آل آن است که در رگرسیون مقادیر شبیه‌سازی‌شده در مقابل مقادیر اندازه‌گیری‌شده ضرایب a=۰ و b=۱ به دست آیند.

نتایج و بحث

خصوصیات فنولوژیکی

نتایج حاصل از مدل بیانگر پاسخگویی خوب مدل برای مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه باقلا در شرایط گنبد بود. مدل به غیر از مرحله روز از کاشت تا سبزشدن، سایر مراحل (روز از کاشت تا گل‌دهی، روز از کاشت تا غلاف‌دهی، روز از کاشت تا دانه‌دهی، روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک و روز از کاشت تا برداشت) را به‌خوبی برآورد کرد (جدول۳).

1. Root mean square error
2. Normalized root mean square error

جدول۲- پارامترهای ورودی موردنیاز مدل

Table 2. Needed input parameters for model

پارامتر (مخفف) **Parameter (abbreviation)**	واحد **Unit**
دادههای هواشناسی و اقلیمی Weather and climate data	
Maximum daily temperature(TMAX) حداکثر دمای روزانه	Degree Celsius (°C)درجه سلسیوس
Minimum daily temperature (TMIN) حداقل دمای روزانه	Degree Celsius (°C) درجه سلسیوس
Solar radiation (SRAD) تابش خورشیدی روزانه	Megajoule per square meter and per day مگاژول در مترمربع در روز
Daily rainfall (RAIN) بارندگی روزانه	Millimeter میلی‌متر
ویژگی‌های خاک Soil characteristics	
Albedo (SALB) آلبیدو	No ندارد
Drainage factor (DRAINF) ضریب زهکشی	میلی‌متر بر میلی‌متر Millimeter per Millimeter
(IDUL) کسر حجمی‌رطوبت در نقطه پژمردگی Volumetric soil water content at drained upper limit	سانتی‌متر بر سانتی‌متر Centimeter per Centimeter
(ILL) کسر حجمی‌رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی Volumetric soil water content at crop lower limit	سانتی‌متر بر سانتی‌متر Centimeter per Centimeter
(ISAT) کسر حجمی‌رطوبت در نقطه اشباع Volumetric soil water content at saturation	سانتی‌متر بر سانتی‌متر Centimeter per Centimeter
Curve number (CN) شماره منحنی خاک	No ندارد
مدیریت زراعی Agronomic management	
Sowing date (PDOY) تاریخ کاشت	Day of year since the 1st January روز سال از اول ژانویه
Density (DEN) تراکم	Plant per square meter بوته در مترمربع
(ISW) رطوبت خاک در موقع کاشت Initial soil water in sowing time	میلی‌متر Millimeter
(IRGLVL) کسر آب قابل‌تعرق خاک برای انجام آبیاری Irrigation threshold level	ندارد No

جدول۳- پارامترهای ریاضی و آماری مربوط به صفات مختلف مورد مطالعه به‌دست‌آمده از مدل و آزمایش‌های مزرعه‌ای

Table 3. Mathematical and statistical parameters related to the various traits studied by the model and field experiments

صفت **Parameter**	حداکثر **Maximum**		حداقل **Minimum**		میانگین **Mean**		پارامترهای آماری **Statistical parameters**		
	واقعی **Actual**	پیش‌بینی‌شده **T.N.R**	واقعی **Actual**	پیش‌بینی‌شده **T.N.R**	واقعی **Actual**	پیش‌بینی‌شده **Predicted**	**R^2**	**RMSE**	**NRMSE**
روز تا سبزشدن Days to emergence	43	14	5	22	36	9	0.19	6.23	0.29
روز تا گلدهی Days to flowering	111	131	87	88	96	108	0.89	2.99	0.12
روز تا شروع رشد دانه Days to start of seed grow	131	141	101	100	114	121	0.81	5.47	0.18
روز تا دانه‌دهی Days to seed formation	134	147	103	108	118	127	0.84	5.1	0.16
روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days to physiological maturity	178	175	128	138	150	158	0.9	5.84	0.12
روز تا برداشت Days to harvest	190	183	133	136	157	166	0.91	6.23	0.11
سطح برگ ماکزیمم Maximum leaf area (m^2)	3.71	2.7	1.33	0.82	2.53	1.58	0.4	0.68	0.29
عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Seed yield (g/m^2)	519.4	249.8	202.5	129.4	325.3	190.2	0.017	32.42	0.10
شاخص برداشت Harvest Index (%)	52.2	56	34	44	46.3	50.1	0.006	5.3	0.29
عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع) Biological yield (g/m^2)	787	497	305	252	490.3	381	0.09	66.29	0.14

روز از کاشت تا گل‌دهی: جهت بررسی این پارامتر، روز تا گل‌دهی مشاهده‌شده از مزرعه با روز تا گل‌دهی پیش‌بینی‌شده توسط مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر مشاهده‌شده در آزمایش مزرعه‌ای با حداکثر و حداقل معادل ۱۱۱ و ۸۷روز و میانگین ۹۶روز بود، در صورتی‌که این مقادیر در نتایج پیش‌بینی‌شده معادل ۱۳۱ و ۸۸روز و میانگین ۱۰۸ بود. مقایسه بین روز تا گلدهی واقعی و پیش‌بینی‌شده نشان داد که داده‌ها در دامنه ۱۵درصد از خط ۱:۱ قرار دارند که بیانگر کارآیی خوب مدل می‌باشد (شکل۱). ضریب تبیین بین این مقادیر در خصوص‌روز تا گلدهی برابر ۰/۸۹ به‌دست آمد. جذر میانگین مربعات خطا و مقدار نرمال‌شده آن به‌ترتیب معادل ۲/۹۹ و ۰/۱۲روز بود (جدول۳).

روز از کاشت تا غلاف‌دهی: نتایج نشان داد که مدل، روز تا غلاف‌دهی را نیز به خوبی پیش‌بینی کرد، به‌نحوی‌که ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال‌شده، بین داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای و داده‌های پیش‌بینی‌شده از مدل به‌ترتیب معادل ۰/۸۱، ۲/۹۹ و ۰/۱۲ بود (جدول۳). مقایسه داده‌های حاصل مقادیر اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده نسبت به خط ۱:۱ در محدوده ۱۵درصد این خط قرار گرفتند (شکل۱) که آن هم بیانگر پیش‌بینی خوب مدل از خصوصیت فنولوژیک‌روز تا غلاف‌دهی باقلا بود.

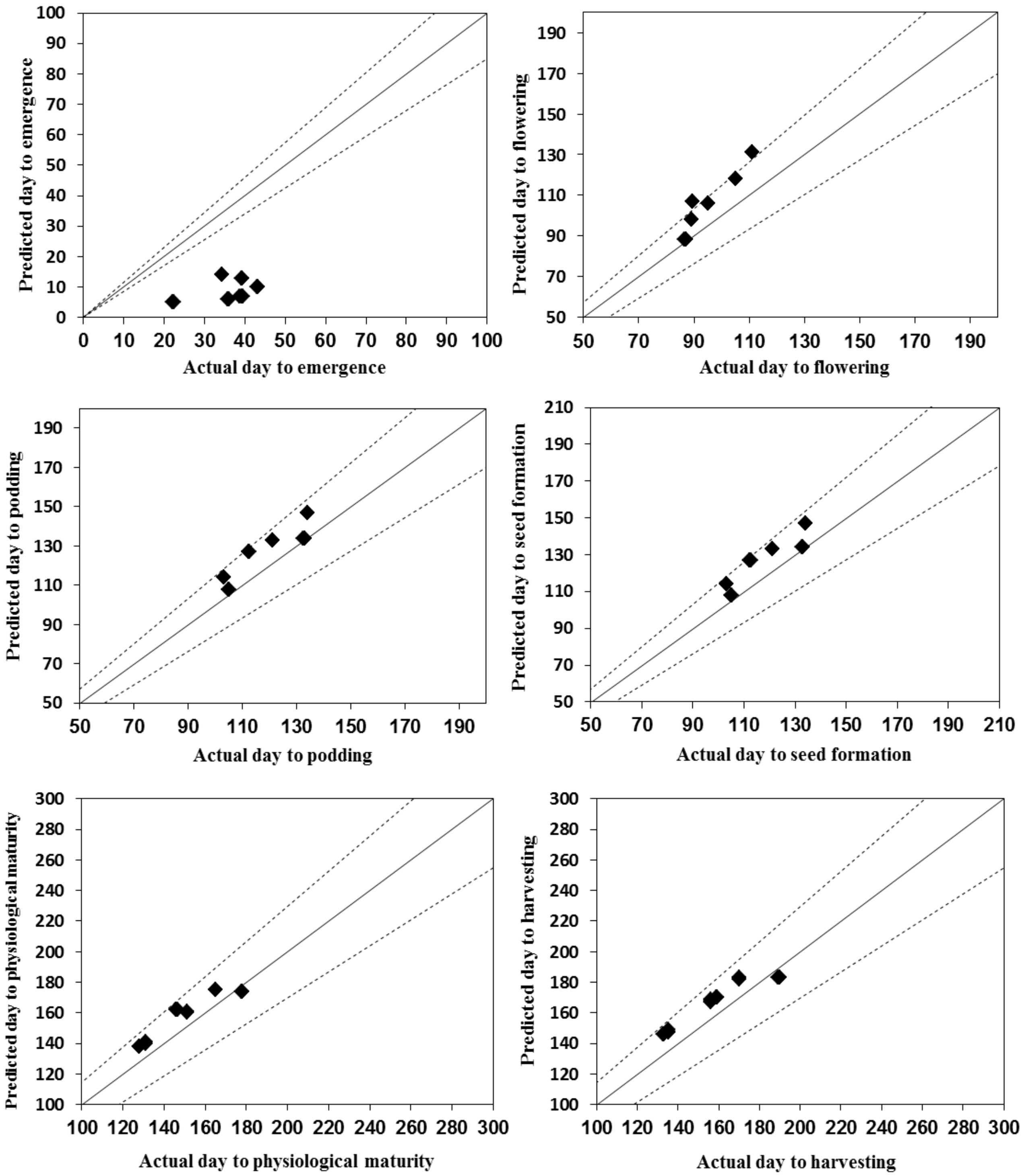
روز از کاشت تا شروع رشد دانه: مقایسه ضریب تبیین حاصل از آنالیز رگرسیون خطی توابع بین مقادیر روز تا شروع رشد دانه اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده گیاه باقلا در شرایط گنبد نشان داد که مدل، ارزیابی خوبی از این پارامتر داشت (R^2 =۰/۸۴). علاوه بر آن، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال‌شده نیز به‌ترتیب با مقادیری معادل ۵/۱ و ۰/۱۶ بیانگر پیش‌بینی خوب این پارامتر توسط مدل بود (جدول۳). نمودار مربوط به مقادیر اندازه‌گیری‌شده روز تا شروع رشد دانه و مقادیر پیش‌بینی‌شده آن نیز نشان داد که تمامی‌داده‌ها در محدوده ۱۵درصد خط ۱:۱ قرار داشتند (شکل۱).

روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیکی: مقادیر روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌دست‌آمده از مزرعه در یک محدوده‌ای از مقادیر ۱۲۸ تا ۱۷۸روز و میانگین۱۵۰روز به‌دست آمد، در مقابل نیز اعداد به‌دست‌آمده از مدل نیز تقریباً در دامنه‌ای مشابه با اعداد واقعی به‌دست آمد، به‌نحوی‌که حداکثر و حداقل‌روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌دست‌آمده از مدل به‌ترتیب معادل۱۷۵ و ۱۳۸روز و میانگین ۱۵۸روز به‌دست آمد. در خصوص این پارامتر، ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال‌شده به‌ترتیب برابر ۰/۹، ۵/۸۴ و ۰/۱۲ به‌دست آمد که همگی نشان دهنده پیش‌بینی خوب مدل می‌باشد (جدول۳). مقادیر روز تا رسیدگی فیزیولوژیک واقعی و پیش‌بینی‌شده مدل نیز در محدوده ۱۵درصد از خط ۱:۱ قرار دارند (شکل۱).

روز تا برداشت: نتایج مطالعه نشان داد که روز تا برداشت پیش‌بینی‌شده توسط مدل از بالاترین دقت نسبت به سایر پارامترهای مورد مطالعه برخوردار بود، به‌نحوی‌که مقدار حداکثر روز تا برداشت که توسط مدل پیش‌بینی‌شده بود، معادل ۱۸۳روز و حداقل این عدد معادل ۱۴۶روز و با میانگین ۱۶۶روز پیش‌بینی گردید. در مقابل حداکثر، حداقل و میانگین روز تا برداشت به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای به‌ترتیب برابر ۱۹۰، ۱۳۳ و ۱۵۰روز بود. ضریب تبیین به‌دست‌آمده حاصل آنالیز رگرسیون خطی توابع بین روز تا برداشت اندازه‌گیری‌شده و مقادیر پیش‌بینی‌شده برابر ۰/۹۱ بود که این مقدار به خوبی نشان می‌دهد که مدل، مقادیر مناسبی را از این پارامتر پیش‌بینی نموده است (جدول۳). علاوه بر آن، سایر پارامترهای آماری و نمودار خط ۱:۱ نیز تأییدکننده مطلب فوق می‌باشد (شکل۱).

(Hundale & Kaur (1997 به منظور پیش‌بینی عملکرد گندم در دشت‌های آبی منطقه پنجاب هندوستان با استفاده از مدل و داده‌های اقلیمی پنج‌ساله، عملکرد دانه، ماده خشک کل، مراحل فنولوژیک، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک گندم را شبیه‌سازی کردند. مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌شده با نتایج مشاهده‌شده در مزرعه نشان داد که مدل به طور رضایت بخشی عملکرد دانه، ماده خشک و مراحل فنولوژیک را پیش‌بینی کرد.

حداکثر سطح برگ: نتایج حاصل از مدل در خصوص حداکثر سطح برگ نشان داد که مدل به‌خوبی این خصوصیت را نمی‌تواند در شرایط گنبد پیش‌بینی نماید. ضریب تبیین به‌دست‌آمده حاصل تابع رگرسیون بین مقادیر داده‌های پیش‌بینی‌شده و واقعی نیز به‌دلیل کمتربودن از ۰/۶ بیانگر این مطلب بود (R^2 =۰/۴) (جدول۳). Xue *et al,* (2008) نیز بیان کردند که مدل مورداستفاده در مطالعه ایشان قادر نبود تا به خوبی حداکثر شاخص سطح برگ را پیش‌بینی کند.



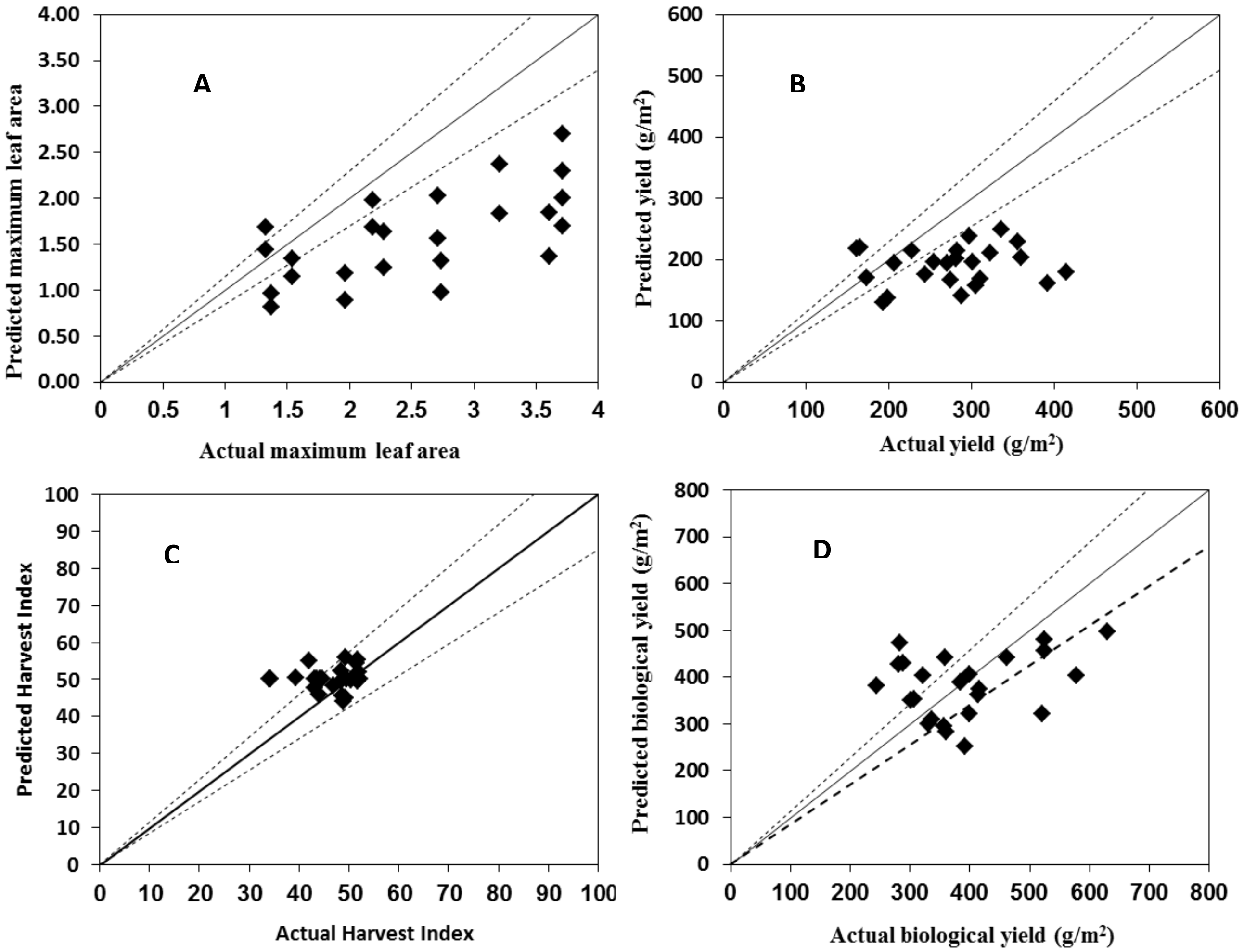
شکل ۱- مراحل مختلف فنولوژیکی مشاهده‌شده در مقابل مراحل مختلف فنولوژیکی پیش‌بینی‌شده

خط توپر، معرف خط ۱:۱ و خطوط نقطه‌چین بالا و پایین به ترتیب بیانگر خط ۱:۱/۱۵ و ۰/۸۵: ۱ می‌باشد.

Fig. 1. Observed different phonological stages versus predicted different phonological stages

Continuous line is line 1:1 and upper and lower dashed lines are 1:1.15 and 1:0.85, respectively.

عملکرد دانه: مقایسه آموزه‌های آماری مربوط به مقایسه بین عملکرد به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای و عملکرد پیش‌بینی‌شده در مدل نشان داد که مدل تحت شرایط مطالعه قادر نیست تا پیش‌بینی خوبی را از عملکرد به ما بدهد. به‌عبارتی ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال‌شده به‌ترتیب برابر ۰/۰۱۷، ۳۱/۴۲ و ۰/۱ به‌دست آمد (جدول۳). علاوه بر این، در خصوص نمودار بین عملکرد واقعی و عملکرد پیش‌بینی‌شده نیز مشخص گردید که داده‌ها تقریباً خارج از محدوده‌ی ۱۵درصد خط ۱:۱ قرار دارند (شکل۲). نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه با یافته‌های Bagheri & Torabi (2015) در خصوص باقلا برای استان گلستان مطابقت نداشت. Aryakia *et al*, (2017) نیز در مورد لوبیاچیتی به نتایج مشابه دست پیدا کردند.



شکل۲- حداکثر سطح برگ (A)، عملکرد (B)، شاخص برداشت (C) وعملکرد بیولوژیک (D) مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی‌شده آن‌ها

خط توپر، معرف خط ۱:۱ و خطوط نقطه‌چین بالا و پایین به ترتیب بیانگر خط ۱:۱/۱۵ و ۰/۸۵: ۱ می‌باشد.

Fig. 2. Predicted maximum leaf area (A), yield (B), harvest index (C) and biological yield versus them actual mounts
Continuous line is line 1:1 and upper and lower dashed lines are 1:1.15 and 1:0.85, respectively.

شاخص برداشت: نتایج نشان داد که مدل، پیش‌بینی مناسبی را از شاخص برداشت باقلا برای شرایط گنبد نمی‌دهد. با وجود قرارگرفتن بیشتر داده‌ها در محدوده ۱۵درصد خط ۱:۱، پارامترهای آماری بیانگر عدم توجیه مناسب مقادیر پیش‌بینی‌شده شاخص برداشت توسط مدل بود. به‌طور مثال، ضریب تبیین برابر ۰/۰۰۶ به‌دست آمد (جدول۳ و شکل۲).

عملکرد بیولوژیک: عملکرد بیولوژیک به‌دست‌آمده در آزمایش مزرعه‌ای در دامنه‌ای از حداقل معادل ۳۰۵گرم در مترمربع تا حداکثر ۷۸۷گرم در مترمربع و میانگین ۴۹۰/۳گرم در مترمربع به‌دست آمد. مدل نیز مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد بیولوژیک را به‌ترتیب معادل ۲۵۲، ۴۹۷ و ۳۸۱ گرم در مترمربع محاسبه نمود. مقایسه بین این دو سری داده نیز نشان داد که مدل در خصوص این پارامتر نیز همانند عملکرد اقتصادی قادر نیست تا پیش‌بینی مناسبی را ارائه نماید. پارامترهای آماری شامل ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال‌شده نیز بیانگر این مطلب بود (جدول۳).

نتیجه گیری

نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل نشان داد که مدل می‌تواند به خوبی مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه را برای شرایط آب و هوایی گنبد پیش‌بینی نماید. دقت پیش‌بینی مدل در مراحل فنولوژیکی منتهی به زمان برداشت به‌خصوص پیش‌بینی‌روز تا رسیدگی فیزیولوژیک وروز تا برداشت از دقت خیلی بالاتری نسبت به سایر مراحل فنولوژیکی برخوردار بود (جدول۱). در مقابل، نتایج این مطالعه حاکی از عدم پیش‌بینی مناسب پارامترهای عملکردی شامل عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک گیاه باقلا در شرایط مطالعه بود. علاوه بر آن، مدل پیش‌بینی مناسبی را از حداکثر سطح برگ به ما ارائه نکرد. شاید بتوان دلیل این امر را این‌گونه بیان نمود که چون ما از مدل نخود جهت مدل‌سازی برای گیاه باقلا استفاده نمودیم و همچنین بعضی از پارامترهای موردنیاز در مدل به‌دلیل عدم وجود این پارامترها برای گیاه باقلا، ناگزیر از پارامترهای نخود استفاده گردید، این امر باعث شد تا مدل نتواند به خوبی بعضی از پارامترها را توجیه کند.

منابع

1. Aryakia, E., Torabi, B., and Aryakia, A. 2017. Evaluating the simulate and prediction model of chitti bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grain yield. Iranian Journal of Field Crop Science 48(3): 591-600. (In Persian with English Summery).
2. Bagheri, V., and Torabi, B. 2015. A simple model for simulation of growth, development and yield of faba bean in Golestan Province. Electronic Journal of Crop Production 8(2): 133-152. (In Persian with English Summary).
3. Boote, K.G., Jones, J.W., and Pickering, N.B. 1996. Potential uses and limitation of crop models. Agronomy Journal 88(5): 704-716.
4. Fehr, W.R., and Cavienss, G.F. 1977. Stage of Soybean Development. Special Report 80, Cooperative Extension. Low State University Ameslowa. 110 pp.
5. Hundale, S.S., and Kaur, P. 1997. Application of CERES-Wheat model to yield productions in the irrigated plains of the Indian-Punjab. The Journal of Agricultural Science 129: 13-18.
6. Jafarnodeh, S., Zeinali, E., Soltani, A., and Sheikh, F. 2017. The effect of seed size and seeding date on the phenological, morphological and agronomic characteristics of faba bean under rainfed conditions in Gorgan. Agricultural Crop Management 19(1): 87-103. (In Persian with English Summary).
7. Majnoon Hosseini, N. 2008. Legumes in Iran. Jihad Daneshgahi. Press, 148p. (In Persian).
8. Rahemi Karizaki A., and Soltani, A. 2005. Allometric relationships between leaf area and vegetative qualities in plant chickpea. In: Proceeding of the First National Conference on Pulse in Iran. 20-21 Novamber 2005. Research Center for Plant Sciences. Ferdowsi University of Mashhad Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
9. Rahemi Karizaki, A. 2011. Investigation the Changes of Physiological and Morphological Traits Associated with Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield. A Thesis Ph.D, Sciences and Natural Resources Gorgan University Agricultural. 104 p. (In Persian).
10. Sinclair, T.R., and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. Advance in Agronomy 65: 215-265.
11. Sinclair, T.R., and Seligman, G. 1996. Crop modeling: from infancy to maturity. Agronomy Journal 88(5): 698-704.
12. Soltani, A., Ghassemi-Golezani, K., Rahimzadeh-Khooie, F., and Moghaddam, M. 1999. A simple model for chickpea growth and yield. Journal Field Crops Research 62(2): 213-224.

13. Soltani, A., Roberston, M.J., Mohammad-Nejad, Y., and Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling ckickpea growth and development: leaf production and senescence. Field Crops Research 99(1): 1-33.
14. Torabi, B. 2004. Prediction of Phenological Development in Chickpea. MSc. Thesis, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran. (In Persian).
15. Turpin, J.E., Robertson, M.J., Hillcoat, N.S., and Herridge, D.F. 2002. Faba bean (*Vicia faba* L.) in Australia's northern grains belt: canopy development, biomass, and nitrogen accumulation and partitioning. Australian Journal Agriculture Research 53(2): 227-237.
16. Van Ittersum, M.K., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Kropff, M.J., Bastiaans L., and Goudriaan, J. 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. European Journal Agronomy 18(3): 201-234.
17. Xue, C.Y., Yang, X.G., Bouman, B.A.M., Deng, W., Zhang, Q.P., Yan, W.X., Zhang, T., Rouzi, A., and Wang, H. 2008. Optimizing yield, water requirements, and water productivity of aerobic rice for the North China Plain. Irrigation Science 26: 459-474.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 11, No. 1, 2020, p. 38-48 (Research Article)

Modeling of phenological stages and yield parameters of faba bean in the East of Golestan province conditions

Rahemi Karizaki[1*], A. & Hosseini [2], S.H.

1. Assistant Professor, Department of Plant Production, Gonbad University, Gonbad, Iran
2. PhD. Student of Agronomy, Department of Plant Production, Gonbad University, Gonbad, Iran; hosseini2002us@yahoo.com

Received: 10 January 2018
Accepted: 21 July 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v11i1.69427

Introduction

Bean is now considered as one of the most important products in the Middle East, Africa, China and parts of Europe and Australia in human and animal nutrition (Turpin *et al*., 2002). Bean is a suitable herb in rotation with cereals. Because it can break the cycle of many common diseases of grains and reduce the population of nematodes. The model is a tool that helps us interpret and understand the world in which we live (Boote *et al*., 2003). Precise prediction of the phenology of crops is one of the essential features of simulation models. From models, improved crop production management can be used to predict the probable dates of harvesting or predicting final yields, or more actively, to predict the timing of phenological events. The production and distribution of dry matter in crop simulation models is largely regulated by the timing of development stages. Understanding how the bean's phenological development response to day length and temperature, creates a model for predicting the time of occurrence of different stages of development of this crop. The aim of this study was to obtain a model for predicting phenological stages, maximum leaf area index, economic and biological yield, as well as harvest index of bean plant under Gonbad conditions.

Materials & Methods

For the main data, the values obtained from field experiments were carried out at the research farm of the Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources of Gonbad-e-Kavou's University under favorable rainfed conditions and free of pests, weeds and bean diseases. The experiment was a factorial based on randomized complete block design with four replications in two years. Planting density was at four levels (8, 12, 16 and 20 plants/m^2) and sowing date was in three levels (13 November, 1391, 13 December, 1391, 13 December 2012 and 7 December 2011, December 4, 2011 and December 17, 2011). The model used in this study was similar to that of Soltani *et al*, (1999) for chickpea. Meteorological and climatic data was from 1994 to 2014 of Gonbad. 24 different scenarios including different combinations of density and planting dates were defined for two years in the model. In order to compare simulated data with field experiment data, evaluation indices, explanation factor (R^2), root mean square error, normalized root mean square error and line 1: 1 were used. The higher the R^2 value from the linear regression of functions and the 1: 1 line closer to one, indicates a high correlation between simulated and observed values and is a sign of a better description of the model in simulating the desired attribute.

Results & Discussion

The coefficient of explanation between the predicted values and obtained from field experiments on day to flowering was 0.89. The root mean square error and its normalized value were 2.99 and 1.29 days, respectively. Also, comparison of the number of days to harvest obtained from field experiments with values obtained from the model showed that all of these values are in the range of 15% up and down the 1:1 line. The results showed that the model also well predicted day to pod setting. So that the explanation coefficient, root mean square error and normalized root mean square error, between the data obtained from field experiments and the predicted data of the model were equal to 0.81, 2.99, and 12.0, respectively. Regarding the day to the physiological maturity, the coefficient of explanation, root mean square error and normalized root mean square error were 0.9, 5.84, and 12.0, respectively, which all represent a good prediction of the

[*]**Corresponding Author:** alirahemi@yahoo.com

model. The explanation coefficient (R^2) was obtained by analyzing the linear regression of the functions between day to harvest and the predicted values equal to 0.91.

Conclusion

The results showed that the model could well predict the phenological stages of the faba bean, with the exception of the day to the emergence. This prediction was at the highest level in the stages leading to bean harvest, so that the highest coefficient of explanation with a value of 0.91 was found for the number of days to bean harvest. Our study showed that the above model cannot predict well the maximum leaf area index, yield, biological yield and harvest index in dune weather conditions and under our farm experiments.

Keywords: Beans, Model, Model description, Simulation